

学校编码: 10384
学号: 24320121152282

分类号_____密级_____
UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

动漫图片的图像修复技术研究

Research on Image Completion Technology
of Cartoon Image

周绍彬

指导教师: 廖明宏 教授

专业名称: 计算机软件与理论

论文提交日期: 2015 年 4 月

论文答辩日期: 2015 年 5 月

学位授予日期: 2015 年 月

指导教师: _____

答辩委员会主席: _____

2015 年 4 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ☒ ） 2.不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘 要

图像修复是根据一定的规则对图像中的信息缺失的部分进行填充修复的算法，要求修复后的图像能够尽量与图像中原有的部分保持连续，平缓过渡。图像修复是图像处理中的一个重要课题，在破损照片修复、图像编辑、图像中物体移除等方面有广阔的应用前景。本文提出的图像修复算法是针对动漫图片的特点提出的，将图片中的待修复区域分为结构部分和非结构部分两大部分，然后分别根据它们的特点提出相应的修复方案，使得最后的修复结果能够保持原来图片的结构连通性，符合人眼的视觉习惯。算法可以分为动漫图片的结构信息提取算法，动漫图片的结构修复算法和动漫图片的非结构区域修复算法三部分。

动漫图片结构信息提取利用二阶差分算法计算梯度值和梯度方向，并利用非极大值抑制的方法筛选出具有局部梯度极大值的点作为候选的特征点，然后选取合适的起始点从起始点的正反两个方向连接方向相同的特征点形成动漫图片的结构曲线。起始点只需要在待修复区域周围选取，因为我们只需要待修复区域周围的曲线结构用于指导结构修复。最后实验证明，利用二阶差分计算梯度值的结构提取方法能够有效地检测出动漫图片中的边界曲线和装饰曲线。

动漫图片结构修复算法是将缺失的结构信息修复完整，可以分为对断开的结构曲线连接成完整的结构曲线和对结构曲线中缺失的图像信息进行修复两个操作。曲线连接部分首先对待修复区域周围的曲线进行两两匹配，选取匹配值最高的曲线对，利用埃尔米特插值的方法将断开的曲线连接成完整的曲线。结构修复定义了一个开销函数用于计算修复结构操作的一个开销，然后利用动态规划算法选取一个开销最小的修复方案对结构进行修复。

最后对非结构区域的修复算法是在基于样图的图像修复算法基础上进行改进后得到的改进算法。该算法针对基础算法优先值计算、样本块匹配算法和样本块搜索算法进行改进。实验证明，改进算法在修复效果和修复效率上都有很大的提高。

关键词：动漫图片；图像修复；结构修复

Abstract

Image Completion is a technique to fill the missing or damaged region of image according some rules. The result of image completion is required to keep continuous and transit gentle. Image Completion is an important topic in image processing, and it can be widely used in photo repairing, image editing, object removal and so on. The method introduced by this paper is according to the characteristic of cartoon image. In this method the region for completing is divided to two parts: structure region and non-structure region, then using different method to repair the damaged region in each part. The result of this repairing method can be more continuously, and meets human visual habit better. The algorithm introduced by this paper can divided into three parts: 1) structure extraction for cartoon; 2) structure completion for cartoon image; 3) non-structure region completion for cartoon image.

The structure extraction of cartoon image first calculate the gradient value and gradient direction using second order difference algorithm, then select the feature point whose gradient value is local maximum using the non-maximum suppression method. After that, we choose start point and connect similar feature point to form a curve from both positive and negative direction of start point. Because we just need the structure near the unknown region to be completed so we choose the start near the unknown regions. The experiment result shows, our method, using second order difference to calculate gradient value, can extract the structure near unknown region effective.

Structure completion for cartoon image is to repair the damaged structure of cartoon image. It consists of two parts, connecting of structure curves and filling the structure in unknown region. The connection of curves first calculates the matching value of each structure curve pairs, and then chooses the pairs which have maximum matching value and interpolate the connecting curves to form a complete curve. The operation of filling the structure in unknown region first defines a cost function to calculate the cost of fill structure in unknown region, and then choose a scheme

whose cost is lowest, using the method of dynamic programming.

At last, there are some regions without structure remains to be completed, after structure completion operation. We used the improved image completion algorithm based on exemplar to repair non-structure region. This method improved the original algorithm in three parts: the priority calculation, exemplar matching rule and rule of searching matching region. The experiment result shows, the improved algorithm is better than original algorithm in efficiency and effect.

Keywords: Cartoon Image; Image Completion; Structure Completion

目 录

第一章 绪论	1
1.1 研究背景与意义	1
1.2 国内外研究现状	2
1.3 论文研究内容	4
1.4 论文结构安排	5
第二章 相关技术分析	6
2.1 基于扩散理论的图像修复技术	6
2.1.1 BSCB 模型修复技术	6
2.1.2 TV 模型修复技术	8
2.1.3 CDD 模型修复技术	10
2.2 基于纹理的图像修复技术	12
2.2.1 纹理合成技术	12
2.2.2 基于纹理合成的图像修复技术	14
2.3 图像修复的难点	17
2.4 图像修复的质量评价标准	18
2.4.1 客观评价标准	18
2.4.2 主观评价标准	19
2.5 本章小结	20
第三章 动漫图片结构信息提取技术	21
3.1 引言	21
3.2 动漫图片的曲线结构分类	21
3.2.1 边界曲线描述	21
3.2.2 装饰曲线描述	23
3.3 动漫图片特征点检测	25
3.3.1 一阶差分检测算法	25
3.3.2 二阶差分检测算法	27
3.3.3 噪声点识别及剔除	29

3.4 动漫图片特征点连接	32
3.5 实验与分析	34
3.5.1 一阶差分和二阶差分对比分析	34
3.5.2 二阶差分检测算法效果分析	35
3.6 本章小结	36
第四章 动漫图片结构修复技术	38
4.1 引言	38
4.2 曲线结构连接	38
4.2.1 贝塞尔曲线拟合	39
4.2.2 计算曲线延长线	40
4.2.3 计算曲线间的匹配值选择最匹配的曲线对	42
4.2.4 对连接曲线进行插值	43
4.2.5 曲线结构连接算法描述	45
4.3 结构信息修复	46
4.3.1 曲线上像素块的选取	47
4.3.2 开销函数定义	48
4.3.3 利用动态规划求解最优解	48
4.4 实验与分析	49
4.5 本章小结	53
第五章 动漫图片非结构区域修复技术	54
5.1 概述	54
5.2 基于样本的图像修复算法改进	55
5.2.1 优先值计算方式的改进	55
5.2.2 减少匹配样本块的寻找区域	56
5.2.3 样本匹配算法改进	57
5.2.4 改进后算法描述	57
5.3 实验与分析	58
5.4 本章小结	61
第六章 总结与展望	63

6.1 总结	63
6.2 展望	64
参考文献	65
攻读学位期间发表的学术论文	70
致 谢	71

Contents

Chapter 1 Preface.....	1
1.1 Background and Significance	1
1.2 Research Status	2
1.3 Research Content	4
1.4 Structure of Paper.....	5
Chapter 2 Analysis on Related Technology	6
2.1 Diffusion Theory Based Image Completion Methods.....	6
2.1.1 BSCB Model.....	6
2.1.2 TV Model	8
2.1.3 CDD Model.....	10
2.2 Texture-based Image Completion Methods.....	12
2.2.1 Texture Synthesis Technology	12
2.2.2 Texture Synthesis Based Image Completion Algorithm.....	14
2.3 Difficulty of Image Completion	17
2.4 Evaluation Criterion For Image Completion	18
2.4.1 Subjective Evaluation Criterion	18
2.4.2 Objective Evaluation Criterion.....	19
2.5 Summary.....	20
Chapter3 Structure Extraction for Cartoon Image	21
3.1 Introduction.....	21
3.2 The Curve Structure Classification in Cartoon Image.....	21
3.2.1 Description of Boundary Curve.....	21
3.2.2 Description of Decorative Curve	23
3.3 Feature Points Detection in Cartoon Image	25
3.3.1 Point Detection Using First Order Difference Algorithm.....	25
3.3.2 Point Detection Using Second Order Difference Algorithm.....	27
3.3.3 Recognition and Removing of Noise Points.....	29

3.4 Feature Points Linking Algorithm	32
3.5 Experiments and Analysis of Results	34
3.5.1 Analysis of Experiment Result Using First Order Difference Algorithm	34
3.5.2 Analysis of Structure Extraction Result Using Second Order	35
3.6 Summary.....	36
Chapter 4 Structure Completion for Cartoon Image.....	38
4.1 Introduction.....	38
4.2 Connection of Structure Curve.....	38
4.2.1 Bezier Curve Fitting	39
4.2.2 Prediction of Curve Extension	40
4.2.3 Calculating Matching Values of Curves and Choose the Best Matching	42
4.2.4 Curve Interpolation for Connected Curves.....	43
4.2.5 Description of Curve Connecting Algorithm.....	45
4.3 Completion of Structure information	46
4.3.1 Selection of Pixel Patch in Curve	47
4.3.2 Definition of Cost Function	48
4.3.3 Solving the Optimal Solution Using Dynamic Programming	48
4.4 Experiment and Analysis of Results.....	49
4.5 Summary.....	53
Chapter 5 Completion of Non-Structure Region for Cartoon Image	54
5.1 Introduction.....	54
5.2 Improved Image Completion Algorithm Based on Exemplar	55
5.2.1 Improved Priority Calculation.....	55
5.2.2 Reducing of Exemplar Searching Region	56
5.2.3 Improved Exemplar Matching Method.....	57
5.2.4 Description of Improved Algorithm.....	57
5.3 Experiment and Analysis of Results.....	58
5.4 Summary.....	61
Chapter 6 Conclusions and Prospects.....	63

6.1 Conclusions	63
6.2 Prospects	64
References	65
Papers Published During Postgraduate.....	70
Acknowledgements	71

厦门大学博硕士论文摘要库

第一章 绪论

1.1 研究背景与意义

处于信息爆炸时代的我们，被各种各样的信息包围着，每时每刻都从外界接收着大量的信息，可以简单概括为视觉信息、听觉信息、触觉信息等信息，其中视觉信息是我们日常生活中接触到的量最大的信息，据统计，一个人对外界信息的感知大约 75%是通过人的视觉系统^[1]，所有这些视觉信息都可以被称为图像（Image）。图像是人类社会活动中最常用的信息载体，是对客观对象的一种相似性、生动性的描述或写真^[1]。随着科技的进步，图像的表现形式也在不断地变化着，从最开始的绘画到后来的照片，再到现在的数字图像；从黑白图像到简单的 16 色彩色图像再到后来 1024 色的彩色图像。总的来说，图像的载体从实体形式发展到虚拟形式、数字形式，而我们现在越来越频繁接触和处理的，就是数字图像。

因为数字图像在采集、存储、处理和传播方面有着无可比拟的优势，所以很多图像信息都以数字图像的形式进行表示，同时也会对旧的图像资料进行数字化存储。但是在数字图像的使用过程中，常常会有图像的部分信息丢失的情况，如对原本因为保存不当而存在划痕或者破损的图像进行数字化后得到的图像；因为特殊需要而移除或者移动图像上特定的物体或者文字等元素而后留下来的空白；在数字图像处理、压缩、传输等过程中信息丢失而产生的信息缺失等，如图 1-1 所示。这些信息的丢失会导致图像质量的降低，从而在视觉上给人造成不舒服和不容易理解的感觉。为了保证图像的完整性，需要对这些有残缺的数字图像进行修复处理，这个过程就被称作图像修复。

动漫图片，主要来自创作者手工绘制包括在纸上的创作和数字化的作品，是图像的一种。动漫是动画和漫画的合称与缩写，动漫图片即为漫画、动画中的图片及其周边图像。在图像数字化的大背景下，动漫图片同样面临着在数字化、传输、压缩和解压缩等过程中产生的图像信息丢失需要进行修复，或者因为移除图像中的部分元素而产生的空白需要进行修复。本文正是基于对动漫图像的特点

进行分析研究后提出的针对动漫图片的图像修复算法。



图1-1 图像信息缺失

图像修复（Image Completion）就是对图像上的信息缺失区域进行填充修复的过程，目的是为了使得修复后的图像能够完整且看不出有被处理过^[2]。对图像填补定义从数学上表示，设 I 为大小为 $M*N$ 的图像，待修复的破损区域用 Ω 表示，其他区域用 Φ 表示，则有 $\Phi = I - \Omega$ ，待修复的区域中和无损区域相邻的边界用 $\delta\Omega$ ($\delta\Omega \subset \Omega$) 表示，如图 1-2 所示。图像修复的目的就是要对图 1-2 (a) 中的 Ω 区域进行修复得到图 1-2 (b) 所示 Ω 区域与其它区域顺畅地连接起来^[3]。

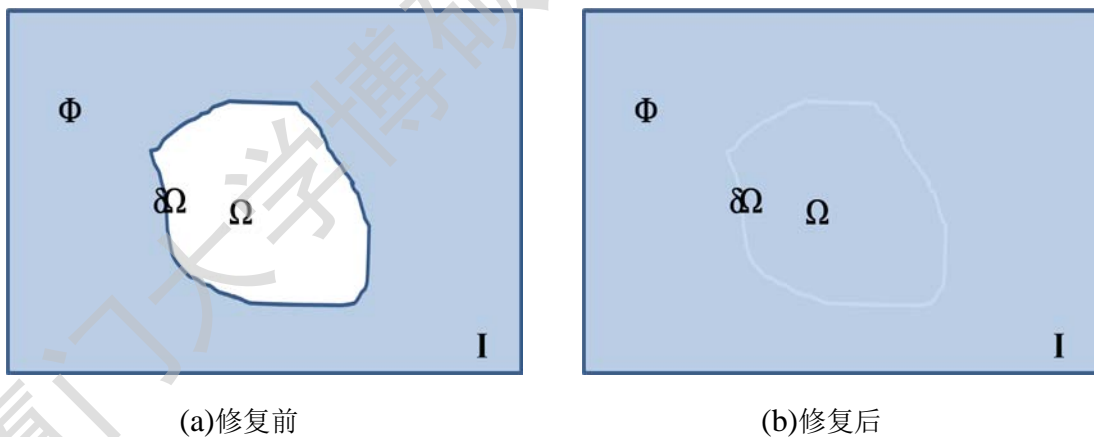


图1-2 图像修复操作示意图

1.2 国内外研究现状

图像修复的概念自 Bertalmio 等人提出后，针对这一问题的算法、模型不断被提出来，成果丰硕。这些图像修复的算法根据采用的修补策略和方法的不同，可以划分为两种类型的修复算法：一种是基于信息扩散的修复方法，另一类广泛使用的方法是基于样本块匹配的图像修复方法。

基于扩散的修复方法，最早由 Bertalmio 等人提出。这类方法是偏微分方程用在图像修复，提出了 BSCB (M.Bertalmio-G.Sapiro -V.Caselles-C.Ballester) 模型，利用图像待修复区域边缘的已知信息，运用扩散机制将图像信息沿着等照线 (isophote) 的方向扩散到待修复的区域内部，从而达到图像修复的效果^[3]。Chan、Shen 等人将变分模型应用于图像修复，通过将待修复区域周围的图像信息传播到待修复区域内，提出基于全变分模型的图像修复技术，即 TV (Total Variation) 模型^[4]。之后，Chan 等人又对 TV 模型进行改进，综合考虑图像轮廓的几何曲率信息后，提出了基于曲率扩散模型的图像修复技术，即 CCD (Curvature Driven Diffusion) 模型修复技术^[5]。在 CCD 模型基础上，Kang、Chan 和 Shen 考虑待修复周围的几何信息，利用 Euler-Lagrange 方程来实现图像修复的目的^[6]。这类采用扩散的修复方法还包括：Tsai A 等人的基于变分理论的 Mumford-Shah 模型^[7]，Grossauer 等人采用 Ginzburg-Landau 方程进行 2D 和 3D 图像修复^[8]等。这类方法在实际应用中容易受到噪声影响，且当图像中包含大尺寸或者复杂纹理信息丢失时修复效果并不理想，故这类方法适合于小尺寸信息缺失的图像修复。

基于样本块匹配的修复方法，是目前最流行也是最方便实现的方法，对大尺寸信息缺失的图像修复效果比较理想。这类方法最早是文献[9]中提出的一种基于马尔科夫随机场原理的纹理合成算法，利用对图像采样的纹理模型，生成所需的纹理。之后 Criminisi 等人提出一种利用采样填充图像的修复算法如文献[10]。Criminisi 的算法利用待修复区域的边缘结构信息计算修复的优先级，从高优先级到低优先级的顺序对待修复区域进行修复，能完成包含较小的结构信息的待修复区域以及不包含结构信息的大尺寸待修复区域的修复，对结构信息的修复效果不够理想。针对结构信息修复的问题，Sun 等人提出在文献[12]中提出一种通过人工标识待修复区域的结构信息，然后在修复时首先对结构进行修复的修复算法，能够较好的修复图片中的结构信息。而 Jia 等人则识别待修复区域周围的结构信息，将位于待修复区域周围的结构连接起来后进行修复，这样能够对结构信息的修复达到较好的效果^[11]。

因为大尺寸信息缺失的图像其现有信息太少，对于结构信息较复杂的情况修复效果并不理想。有一种思路是找到内容较为匹配的图像碎片贴到待修复的区域，

然后对其连接处及其余空白区域再进行修复，文献[16]中采用的就是这种方法。这种方法的整体修复效果比较理想，但是寻找一个内容匹配的图像碎片并不容易。近几年，互联网技术爆炸性发展，网络上的数字图像资源也快速地膨胀着，因此基于互联网海量图像资源的图像修复算法也成为了一个研究方向。这种方法使用海量的图片资源作为样本库，使得图像修复的时候可以有足够大的样本库以供查找合适的匹配样本图。如文献[13][14][15]中提出的算法，使用网络上海量的图片资源建立数据库，然后对数据库中的样本进行匹配找到合适的样本对图像进行修复。

1.3 论文研究内容

本文以 2013 年度教育部-中国移动科研基金项目《面向移动互联网的手机动态图快速制作及实时编解码技术研究》为背景，围绕着面向动漫图片的图像修复算法展开研究。从动漫图片的特点出发，提出一个针对动漫图片的图像修复算法，主要思路是首先提取待修复区域周围与待修复区域边缘有相交情况的结构信息，然后连接这些交点使得结构信息完整，之后对结构进行修复，最后再对其他区域进行修复。

本文提出的动漫图片的图像修复算法的内容主要可以分为动漫图片结构信息提取、动漫图片结构修复和动漫图片非结构区域修复三部分。本文也将按顺序对这三部分进行论述。

1. 动漫图片结构信息提取技术研究。动漫图片拥有两种类型的曲线结构，边界曲线和装饰曲线，边界曲线构成了动漫图片的基本轮廓，而装饰曲线用于勾勒人物的表情、动作、姿态等特征，使得人物变得更加生动、活泼。因而在提取结构信息时我们需要同时考虑这两类曲线。这部分将对动漫图片中两种曲线结构进行分析，提出能够提取出我们所需的结构信息的算法。这部分内容将在论文第三章进行阐述。

2. 动漫图片结构修复技术研究。对于图像的结构修复，首先要将原本断开的结构连接起来，使得整个图像的结构信息能形成一个整体，为对结构进行修复提供引导信息。论文中提出了动漫图片的结构连接算法来对结构进行连接，首先

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.